49e ANNÉE (5e SÉRIE) N° 45 10 NOVEMBRE 1932

L'AMI DU CLERGÉ

Paraît à Langres tous les Jeudis

Mgr F. PERRIOT
Protonotaire apostolique *ad instar participantium*
FONDATEUR

Mgr A. ROZIER
Prélat de la Maison de Sa Sainteté
Docteur en théologie, Chanoine titulaire de Langres
DIRECTEUR

PETITE CAUSERIE SCIENTIFIQUE

LA NAISSANCE DES MONTAGNES ET L'ORIGINE DES CONTINENTS

SOMMAIRE. — L'histoire de nos erreurs. — Qu'elle est fort instructive.

I. LA NAISSANCE DES CHAINES DE MONTAGNES. — De la « Panthalassa » à nos chaines actuelles. — Il faut recourir à des hypothèses. — Théorie des soulèvements; — son insuffisance. — Théorie des contractions. — La synthèse d'Elie de Beaumont. — Celle de Suèss. — Critique de cette théorie. — Théorie de l'écoulement. — Théorie de l'isostasie. — Théorie de la radioactivité. — Théorie de la dérive.

II. L'ORIGINE DES CONTINENTS. — Les zones de densité. — Le phénomène géothermique. — Lithosphère, pyrosphère, barysphère; — nifé, sima, sial. — La dérive des continents. — Résistances et plissements. — L'hypothèse de Wegener. — Le bloc continental primitif. — Fragmentations et déplacements. — Séismes et volcans. — Les volcans en chapelets. — La théorie de Wegener et la géographie physique. — Le système d'E. Argand. — Objections et critique. — Que conclure ?

L'histoire des sciences, a-t-on dit, n'est que l'histoire de nos erreurs. En un sens, rien n'est plus vrai; c'est la contre-partie de cette autre formule : *Non nisi errando discimus.* Et il est bien certain que, dans n'importe quel domaine scientifique, lorsqu'on se tourne vers le passé, on n'a sous les yeux qu'un cimetière de théories contradictoires ou successives, qui se sont mises à mal l'une l'autre et la plupart du temps ont disparu sans retour.

Un cimetière, oui ! Mais on aurait bien tort de conclure de là contre la science. Car chacun de ces systèmes démodés, chacune de ces théories mortes, a tenu sa juste place et joué son rôle utile. Comme la vieille peau rejetée par le serpent, elles sont aujourd'hui fripées, vides et le jouet des vents. Mais, à leur heure, elles ont enveloppé un contenu vivant, elles ont reçu, puis transmis le courant de la pensée scientifique. Elles nous ont conduit un peu plus près d'une connaissance toujours fuyante, mais toujours plus approchée. *Nunc per speculum et in ænigmate.* Elles nous ont finalement permis de percevoir plus distinctement et dans des proportions de plus en plus grandioses, le grand mystère qui nous enveloppe de toutes parts et contre lequel notre recherche finit aujourd'hui par se heurter. Que la science, et plus spécialement la nouvelle physique, ait pu mener l'esprit humain au contact même de ce mystère, le lui rendre, pour ainsi dire, palpable et tangible, inexorablement dressé devant lui comme le mur d'airain où notre effort trouve sa limite, c'est un résultat d'une portée inouïe, dont les conséquences philosophiques et religieuses ne sauraient être surestimées. Et ce résultat, il est lui-même l'aboutissement de combien et combien d'erreurs, de théories fausses, de systèmes mal fondés !

On ne peut se défendre de ces réflexions lorsqu'on aborde un sujet comme celui-ci, où les explications des phénomènes souvent semblent s'exclure l'une l'autre, de telle sorte que l'erreur de l'une ou de l'autre est indubitable, sans que nous puissions savoir cependant de laquelle, et où les théories s'offrent avec une telle diversité. Pourtant il y a, dans la grandiose synthèse qui finalement se propose à nos réflexions, une telle cohérence, un tel faisceau de convergences et d'harmonies, une telle puissance explicative, en un mot, que, malgré tout le bouleversement qu'elle apporte à nos idées habituelles, nous ne pouvons nous soustraire à l'attrait que nous offre son étude.

I. — La naissance des chaînes de montagnes

Si mal en point que soient maintenant les idées de Kant et de Laplace, — la fameuse hypothèse de Laplace qui domina tout le XIXe siècle ! — sur la formation de notre système cosmique et de notre globe terrestre, il reste que la terre a dû revêtir d'abord la forme d'une sphère régulière, et qu'à l'aurore de son histoire toute sa surface devait être couverte par les océans. C'est le temps où « l'Esprit planait sur les eaux, » et aussi celui de la *Panthalassa,* la mer universelle, comme l'a nommée l'illustre géologue viennois Ed. Suèss.

Or aujourd'hui cette bille planétaire lancée à toute vitesse à travers les espaces, nous la trouvons toute cabossée, ridée, fêlée et crevassée. Des masses montagneuses formidables, dirigées en tous sens, et, à première vue, orientées tout à fait au hasard, s'agrippent à sa surface, en déforment totalement les lignes et effacent jusqu'à l'apparence d'un ensemble sphérique, tandis qu'à côté sont creusés des abîmes. Comment ceci s'est il pu former de cela ?

Et ce n'est pas tout. Nous avons l'absolue certitude, inscrite dans les flancs même du globe terrestre en caractères irrécusables, qu'au cours des temps l'emplacement et la forme de ces montagnes comme de ces profondeurs, se sont perpétuelle-

ment modifiés. Modifiés dans des proportions telles que toutes nos montagnes actuelles sont sorties de fonds océaniques, que la place des océans s'est transportée continuellement au cours des âges sur la face de notre sphère et que nous retrouvons leur trace peu s'en faut sur tous nos continents. Ni les lignes des rivages, ni la profondeur des fonds marins, ni la hauteur des chaînes, ni leur modelé n'ont cessé de changer, et parfois du tout au tout. De sorte que notre globe, qui nous paraît quelque chose de si stable, de si permanent, de si rigide, s'est comporté, à travers les millénaires, comme une simple boulette de cire sous les doigts du modeleur.

Voilà les faits. Ils n'apparaissent pas contestables. Théoriquement il doit devenir possible de dresser un jour un atlas historique de la terre depuis les plus anciennes périodes géologiques, et l'on y verra, millénaire par millénaire, les océans glisser à la surface de notre sphère comme une goutte d'eau qui se joue, les abîmes se combler, émerger, monter dans l'espace, atteindre des altitudes de cinq mille ou de dix mille mètres, et peut-être plus, les anciennes chaînes s'arrondir, s'abaisser, s'effacer, devenir des plaines, qui peut-être ensuite s'abîmeront sous les flots. Tels sont les spectacles grandioses auxquels l'esprit est convié par les sciences géologiques, et, pour être tout de même infiniment moins complexes que les phénomènes où la vie est en cause, ils n'en sont pas moins de ceux qu'un « honnête homme » ne saurait contempler sans éprouver le frisson de Pascal devant les deux infinis.

Mais ce même « honnête homme » aussi ne saurait s'interdire de s'interroger sur les causes. Comment de telles transformations ont elles été rendues possibles ? A quels facteurs peut-on raisonnablement les attribuer ? Comment expliquer la formation des grands systèmes montagneux qui sculptent de leurs échines ramifiées et de leurs flancs multiformes le visage vénérable de notre vieille terre ? Quelle force prodigieuse a lancé dans les airs ces colosses et les y maintient ? Quelle force a creusé les océans, et, dans les océans, les grands gouffres abyssaux ? Tels sont les problèmes que se pose tout esprit réfléchi.

Problèmes terriblement obscurs et épineux, s'il faut en juger par la multiplicité même des réponses contradictoires qu'on leur a successivement apportées. Réponses dont aucune, et c'est l'évidence même, ne saurait s'appuyer sur l'expérience, puisqu'il n'est pas à notre portée de reproduire des phénomènes de quelque ampleur cosmique, et que les quelques expériences de laboratoire tentées dans cette direction apparaîtront toujours ridiculement disproportionnées avec l'objet de la recherche. Hypothèses donc, dont toute la valeur se mesurera sur leur concordance avec les faits observés, sur le nombre et l'importance des phénomènes dont elles paraîtront apporter la clé. Hypothèses, oui ! Mais dont on aurait grand tort de dédaigner le rayon de lumière qu'elles peuvent projeter au cœur de ces ténèbres, puisque ce rayon, c'est le sentier qui permettra à notre intelligence d'atteindre de nouveaux trésors d'ordre et d'harmonie au sein du merveilleux système de l'univers.

La théorie des soulèvements. — Il nous semble aujourd'hui qu'il était tout simple de penser que les montagnes résultent de soulèvements de l'écorce terrestre, que c'était là une pensée toute naturelle qui devait dès l'abord se présenter à l'esprit. Quelle illusion ! Il a fallu arriver jusqu'au milieu du XVIII^e siècle pour que cette explication, apparemment si élémentaire, pût prendre corps et se formuler. Encore ne fut-ce pas sans efforts de pensée ni luttes entre écoles.

Après qu'Horace Bénédict de Saussure (1745-1799), ce grand familier de la montagne, eut le premier, dans une lumineuse intuition, songé à un « refoulement latéral » pour expliquer la surrection des Alpes, l'hypothèse fut exposée vers le même temps par deux savants allemands, Alexandre de Humboldt et Léopold de Buch [1], condisciples et amis. Détail psychologique intéressant, elle sortit en somme de la réaction, si fréquente, des élèves contre l'enseignement du maître. Léopold de Buch avait étudié la géologie à l'école des mines de Freyberg, où enseignait Werner. Or deux écoles se disputaient alors le champ des théories géologiques : l'école neptunienne et l'école vulcanienne. La première, dont Werner était le chef, prétendait expliquer toute l'histoire de la terre, ou plutôt le peu qu'on en soupçonnait en ce temps-là, par l'action des flots ; la seconde ne voulait reconnaître d'autre facteur que le feu intérieur.

L'observation des terrains ne tarda pas à convaincre Léopold de Buch de l'insuffisance du neptunisme. Il comprit l'impuissance de celui-ci à expliquer les bouleversements si évidents des couches primitives du globe, la présence, en masses colossales, de roches cristallines, le déplacement des mers, le redressement d'énormes épaisseurs de terrains originairement horizontales. Et c'est en somme à la fusion des deux théories qu'il aboutit, en les précisant et les renforçant l'une par l'autre. L'intérieur du globe, pensait-il, étant composé d'une sorte de pâte en fusion, soulève la croûte terrestre par suite des remous produits par les forces intérieures et par la pression des gaz à haute température qui s'en dégagent. Les terrains sédimentaires sur lesquels se produit la poussée se trouvent ainsi portés dans l'espace à de grandes altitudes, parfois complètement redressés, et des cassures qui en résultent s'échappent les gaz sous pression, en projetant des cendres et des pierres de structure particulière : ce sont les volcans. Par une conséquence

[1] Frédéric Henri Alexandre, baron de Humboldt (1769-1859), naturaliste et voyageur qu'illustrèrent ses explorations des régions tropicales et son fameux *Cosmos* (1845-1851). — Léopold de Buch (1774-1853), son condisciple et ami, géologue de grand mérite, qu'Humboldt déclarait « le plus grand géologue de notre siècle. »

naturelle, les océans se retirent des régions ainsi soulevées et de la sorte s'explique la migration des mers à travers la surface terrestre.

Ainsi semblait réalisée la synthèse d'une série de faits qui semblaient jusque-là hétérogènes et recevaient pour la première fois une explication commune, lumineuse et logique.

Un géologue contemporain de renom, l'allemand W. Penck, a repris et modernisé cette théorie en la faisant bénéficier des progrès de nos connaissances physico-chimiques. Sous la croûte terrestre, donc, un magma fluide. Des réactions chimiques s'y produisent sous l'influence des hautes températures, des hautes pressions et des déplacements de substances à travers la masse. Ces réactions, comme conséquence, donnent naissance à de très grands dégagements de chaleur, à des pressions extraordinairement élevées ; le volume du magma interne augmente et appuie de toutes ses forces contre la face inférieure de l'écorce. Il arrive par suite que, dans les régions où sa résistance est moindre, celle-ci se soulève et se plisse, produisant ces énormes rides que nous nommons les montagnes. Sur les points plus résistants, au contraire, là où la pression intérieure se trouve moindre que celle exercée par la croûte elle même, celle-ci s'affaisse, se creuse et s'enfonce, donnant ainsi naissance aux profondeurs océaniques. Pour W. Penck, une vue stéréoscopique du relief terrestre donnerait donc ainsi une image transparente des mouvements propagés au sein du magma intérieur, agité de remous à la façon d'un liquide épais et mobile.

Telle que nous venons de l'exposer, cette théorie si cohérente se révèle cependant impuissante à expliquer les phénomènes si complexes qu'a décelés l'étude plus approfondie des structures montagneuses, surtout dans les grands massifs et les chaînes à rameaux multiples. On ne peut guère attribuer à des soulèvements de mécanisme aussi simple, que des effets locaux et d'importance réduite. Le poids prodigieux des masses à déplacer et la hauteur à laquelle elles ont été portées, supposeraient des pressions internes infiniment supérieures à celles que l'on est en droit de calculer. Aussi peut-on dire que l'hypothèse des soulèvements par des forces agissant directement de bas en haut est aujourd'hui généralement abandonnée, lorsqu'il s'agit d'expliquer la formation des montagnes. Quel que puisse être le rôle de cette pression interne, on s'accorde maintenant à voir dans la surrection des rides terrestres l'effet de forces, non pas dirigées de bas en haut, mais de droite à gauche et de gauche à droite, de la poussée latérale, autrement dit, exercée horizontalement par les diverses parties de l'écorce les unes sur les autres. Les expériences déjà anciennes du géologue français Daubrée (1814-1896) sur des lames de plomb et des couches comprimées d'argile, ont permis de saisir schématiquement cet effet de la poussée horizontale et de constater les plissements issus de cette compression. On nomme mouvements tangentiels ces déplacements dans le sens horizontal.

La théorie des contractions. — Il reste à chercher l'explication de ces poussées tangentielles. La première pensée qui vient à l'esprit sera évidemment de la trouver dans la contraction qui doit fatalement résulter, d'après les idées courantes, du refroidissement continu et progressif de notre globe. Et c'est en effet la théorie que formulait, vers le même temps que Léopold de Buch et Humboldt exposaient la leur, notre illustre géologue Elie de Beaumont (1798-1874). Ce faisant, il ne rompait pas avec les idées de l'école allemande; mais il les reprenait en les transformant. Dans sa *Notice sur les systèmes de montagnes* (1849-1852), il s'est élevé à des vues synthétiques aussi neuves que puissantes. Elles ont dominé pendant trois quarts de siècle tout le développement des sciences géologiques.

En dehors des phénomènes et des terrains volcaniques, deux ordres de faits, à ses yeux, se partagent l'histoire de la croûte terrestre. Les uns sont lents, progressifs, de durée prodigieusement longue ; les autres rapides et catastrophiques. Et ils se succèdent régulièrement dans la marche des temps. Les premiers sont constitués par la sédimentation qui se produit au fond des mers par le dépôt de vases et de débris s'accumulant dans les profondeurs. Les seconds, interruptions subites de ce travail progressif, résultent de la contraction du noyau, c'est-à-dire de la masse énorme de matières en fusion qui supporte la carapace solidifiée. En roulant à travers les espaces, la terre, pensait Elie de Beaumont, ne peut que se refroidir petit à petit, puisqu'elle abandonne par rayonnement une partie de sa température propre et n'en reçoit pas de l'extérieur. Refroidi, le noyau perd de son volume ; des vides se creusent entre lui et l'écorce, qui ne font que s'étendre et s'accroître. Tant et si bien qu'un beau jour, par places, tout s'écroule, comme une voûte dont les pieds s'écarteraient. Ce serait au fond le même phénomène à peu près que celui d'une pomme qui se ride et se ratatine, parce que le contenu ne remplit plus complètement l'épiderme qui l'enveloppe. Mais moins souple que l'écorce du fruit, celle de la terre, constituée de zones inégalement épaisses et résistantes, est soumise à des actions plus radicales et plus brutales. Les parties qui résistent contraignent les autres à se comprimer, prises comme entre les deux mâchoires d'un gigantesque étau. Celles-ci donc se gondolent, se plient, se redressent, forment à la surface du globe de longues arêtes : ce sont les chaînes de montagnes.

Mais Elie de Beaumont ne s'arrêtait pas là. C'est ici au contraire que se place la partie la plus originale et la plus féconde de sa théorie. Ces cataclysmes se reproduisent périodiquement et terminent chacun un cycle pour en ouvrir un autre. Ils correspondent d'une part avec un renouvellement de la population animale et végétale

des régions intéressées, de l'autre avec la direction uniforme des chaînes de montagnes soulevées en même temps. Ainsi s'expliquent aussi bien les démarcations nettes, — elles le paraissaient alors, — entre les différents étages géologiques que les directions variées des systèmes montagneux. Ce n'est point par la nature de leurs roches que l'on peut fixer, conséquemment, l'âge des diverses chaînes, c'est par leur direction. Chaque système de montagnes, surgi entre deux périodes de calme, est caractérisé par une direction donnée, résultant du sens des poussées qui l'ont produit en même temps que de celui des résistances rencontrées par cette poussée.

On ne saurait refuser à cette vigoureuse synthèse la beauté puissante des constructions de l'esprit les plus compréhensives et les mieux équilibrées. Mais l'esprit humain, en cherchant à comprendre la nature, est pareil à un polygone enlaçant de son réseau un cercle, à un polyèdre enveloppant une sphère. Leur étreinte a beau se faire de plus en plus étroite, elle ne sera jamais parfaite et absolue. Toujours il n'y aura d'un côté que des angles et des droites, de l'autre que des courbes et des surfaces convexes. Une fois de plus la théorie s'est trouvée insuffisante à contenir les faits. Bien plus il semblerait qu'elle portait en elle même la figure de son destin. Car après une longue période de calme possession et d'accroissement, elle s'est tout à coup sentie vaciller sous la poussée de nouvelles observations et de nouvelles découvertes.

Elle fut généralement adoptée par les géologues qui, jusqu'à ces derniers temps, ne firent que la préciser ou tout au plus la retoucher quelque peu. Pour le grand savant autrichien Edouard Suëss (1831-1916), la surface terrestre, par suite de la contraction du noyau, subit des affaissements successifs, elle s'écroule par pans colossaux. Ceux-ci creusent donc de vastes compartiments, régions d'effondrement où la plupart du temps s'amassent les eaux océaniques, tandis qu'entre eux restent debout comme des échines les blocs résistants et rigides fortement consolidés par leurs soubassements, les « Horsts », qui constituent les chaînes de montagnes avec tous leurs accidents secondaires.

Suëss appuyait le magnifique ensemble de ses vues sur l'étude détaillée, et menée avec quelle maîtrise ! de la structure des Alpes[1]. Elles expliquaient pleinement les innombrables problèmes posés alors par la connaissance que l'on avait des régions plissées et elles se trouvent encore couramment exposées sous cette forme dans les manuels actuels.

Cette attribution de la primauté du rôle des efforts tangentiels qui s'exercent sur les masses sédimentaires, la reconnaissance de leur puissance colossale furent de grands événements scientifiques et restent des acquisitions d'une valeur fondamentale. Toutes les théories qui suivront s'appuieront sur ces faits désormais incontestés, ne feront qu'en préciser les modalités, en creuser les applications, en détailler les conséquences. Lorsqu'en 1863 Cornet et Briart étudièrent le bassin houiller belge, ils pressentaient déjà toute la portée que devait prendre le grand principe des refoulements. « Après la formation du terrain houiller dans notre pays, écrivaient-ils, il y a eu depuis la frontière française jusqu'à la frontière prussienne et même jusqu'au delà de ces limites, un mouvement de translation horizontale de l'Ardenne vers le Nord[1]. » C'est cette théorie qui a permis à Marcel Bertrand, en 1884, d'étendre, dans une vue géniale, à l'ensemble des Alpes, l'idée d'une structure en plis couchés et en nappes de recouvrement.

Elle a suffi également au grand et regretté Pierre Termier pour sa synthèse géologique des Alpes et des régions méditerranéennes. « L'amplitude des déplacements horizontaux, déclarait-il, est variable d'une chaîne à l'autre et variable aussi dans la même chaîne ; elle peut aller à plusieurs centaines de kilomètres. Celle des dénivellations verticales ne dépasse pas quelques milliers de mètres[2]. » Les plissements produits par ces déplacement horizontaux sont également très variables :

« Les uns [sont de] simples ondulations à grand rayon de courbure et à allure tranquille, les autres aigus et serrés, avec de fortes perturbations locales ; ils produisent, parfois, le déversement de tous ces plis dans un certain sens, leur transformation, même, en des plis couchés, véritables *nappes,* qui ont cheminé plus ou moins longtemps sur un substratum fixe, en labourant ce substratum ; ils produisent, d'autres fois, la translation, sans plissement préalable, de tout un pays, de toute une zone superficielle, qui s'avance ainsi en surmontant, en écrasant le pays placé devant elle ; ils produisent enfin, dans des cas plus rares et de reconstitution plus difficile, l'avancée souterraine d'un grand paquet de terrains, qui s'insinue, à la façon d'un coin, entre la zone superficielle immobile et une zone plus profonde, également inébranlée[3]. »

Et ailleurs : « Presque toujours, quand on observe une nappe, on découvre, sous elle, d'autres nappes, plus ou moins nombreuses. C'est la structure en nappes empilées ou en paquets de nappes... Les expressions *pays de nappes, pays de plis, pays de racines, pays autochthone* se comprennent d'elles-mêmes. Une *carapace,* c'est une nappe ployée en dôme ou en verre de montre et plongeant, dans tous les azimuts, sous une autre nappe qui lui est superposée. Une ***fenêtre,*** c'est une déchirure dans une nappe, au fond de laquelle on aperçoit, ou bien la partie haute d'une nappe inférieure, ou bien le pays autochthone qui sert de substratum à la nappe déchirée[4]. »

Le même savant en arrive à conclure que « pour expliquer les Alpes... il faut faire appel au resserrement graduel d'un fuseau de la surface terrestre, puis à l'avancée, au chevauchement, du

[1] Ed. Suëss, *Die Entstehung der Alpen,* Vienne, 1877.

[1] Cité dans *Revue des Questions scientifiques,* 1932, p. 17.
[2] P. Termier, *A la Gloire de la Terre,* Paris, 1922, p. 86.
[3] P. Termier, *La Joie de connaître,* Paris, 1928, p. 124-125.
[4] P. Termier, *A la Gloire de la Terre,* pp. 56 et 87.

bord méridional de ce fuseau sur toute la zone plissée. Au total, le déplacement du bord méridional alpin, par rapport au bord septentrional supposé fixe, ne peut pas être inférieur à 500 kilomètres. Je veux dire que le point de la surface terrestre où se trouve aujourd'hui Venise et celui où se trouve aujourd'hui Nuremberg, qui sont actuellement distants de 450 kilomètres environ, étaient probablement à près de 1.000 kilomètres l'un de l'autre pendant l'ère secondaire, avant les débuts du plissement alpin [1]. »

Ce sont là de magnifiques découvertes désormais acquises. Quant aux théories que l'on pouvait alors échafauder sur les causes possibles de ces étonnants phénomènes, il faut bien dire et reconnaître qu'elles ne répondent plus aux données de la science. On voit même traiter très durement cette idée de la contraction et des affaissements, ainsi que la comparaison classique avec une rainette ridée. « Cette formule imagée et approximative, écrit l'auteur d'un excellent petit exposé géologique, a longtemps dispensé de fonder les mouvements orogéniques sur une théorie vraiment scientifique, tant il est vrai que rien n'est plus tenace qu'une vérité non démontrée, quand elle a été érigée en vérité première [2]. » C'est plus que dur, c'est nettement injuste et s'il y a des reproches à faire, ce n'est pas à la théorie énoncée, imposante et longtemps solide, qu'il faut les adresser. C'est au mouvement scientifique lui-même, qui ne cesse de se dépasser. Cette théorie a été « vraiment scientifique » pendant soixante ou soixante-dix ans ; elle répondait parfaitement à la science d'alors, et, si elle ne répond plus à celle d'aujourd'hui, il n'y a pas à le lui reprocher. Car tenons-nous pour assurés que les théories actuelles, dans cinquante ans, ne seront pas moins démodées. Cependant, des unes comme des autres, il demeurera un noyau de vérité, qui s'incorporera aux théories nouvelles, et qui peut être considéré comme acquis à titre définitif.

Il n'est pas douteux que les observations géologiques et géophysiques tendent de plus en plus à infirmer la théorie des contractions.

Tout d'abord la base même de l'hypothèse se voit fortement contestée. Tout le monde n'est plus d'accord pour admettre que notre globe se refroidit, et beaucoup admettent au contraire qu'il se réchauffe. Ce réchauffement serait l'effet de la radioactivité. Dans la plupart des roches que nous connaissons, on peut déceler des propriétés radioactives. Or il est très vraisemblable que les roches présentes dans l'intérieur de la terre possèdent les mêmes propriétés et la même teneur en radium. Ce radium, par sa désintégration, produit de la chaleur, et le calcul montre que, dans les conditions envisagées, les radiations thermiques ainsi produites suffiraient, non seulement à compenser le refroidissement, mais à renverser le sens du phénomène et à provoquer un réchauffement certain.

La chose reste cependant encore soumise à la discussion et à la recherche, et une pure hypothèse comme celle-là ne suffirait pas à en faire abandonner une autre qui donnait réponse à tant de problèmes. Mais il y a d'autres objections.

Ce refroidissement du globe dont on fait état, rien ne permet, s'il est réel, de le mesurer ni de l'apprécier avec quelque précision. Mais tous les calculs que l'on peut effectuer tendent à démontrer l'inexistence de tout parallélisme entre refroidissement et plissements. Ainsi l'on a acquis la certitude que dès avant l'ère paléozoïque, c'est-à dire dès les temps les plus anciens du primaire, la température de la terre avait permis l'établissement de glaciers, dont on a retrouvé les traces non douteuses. Or c'est depuis ce moment que se sont produits les grands plissements auxquels sont dues les chaînes calédoniennes, hercyniennes et alpines. On ne voit pas comment une si faible différence des températures aurait pu amener des contractions assez puissantes pour expliquer des effets aussi colossaux. Il faut se rendre compte, en effet, que par suite du plissement qu'elles ont subi, des montagnes comme le Jura et les Alpes ont été réduites au quart ou au huitième de la largeur qu'occupaient auparavant les terrains dont elles sont formées. Il suffit, pour s'en assurer, de mesurer les plis qui les constituent et de les supposer déroulés et étalés dans l'espace. Les Alpes déroulées couvriraient 1 200 kilomètres, beaucoup plus que la distance de Brest à Strasbourg. Si l'on se base sur les coefficients moyens de dilatation des quatre substances les plus répandues dans le sol, nickel, fer, calcaire et quartz, on arrive à ce résultat que le refroidissement capable de produire pareille contraction aurait dû être de 2 400°. Les plissements hercynien et calédonien eussent exigé des abaissements de température bien supérieurs encore. Ce n'est pas moins de 10.000° qu'il faudrait supposer perdus par notre globe depuis les temps primaires. Visiblement des chiffres aussi formidables sont totalement inacceptables.

Autre point de vue. Si les montagnes sont dues à la contraction du globe, pourquoi ne sont-elles pas réparties à peu près uniformément comme des rides régulières, puisque la perte de chaleur, donc la contraction et le plissement qui en sont les suites, ont dû se manifester sensiblement dans des proportions uniformes sur toute la surface ? Pourquoi aussi ces phénomènes, au lieu d'être marqués par des mouvements lents et continus, se sont-ils manifestés au contraire par quatre grandes crises, espacées dans le temps au long des millénaires et séparées l'une de l'autre par d'immenses périodes de *statu quo* à peu près complet ?

Contrairement aussi à ce que voudrait la théorie, qui implique l'alternance, à l'infini, dans un même point, de la présence des eaux océaniques puis des terres émergées, l'étude des continents

[1] P. Termier, *La Joie de connaître*, p. 126.
[2] John Leuba, *Introduction à la Géologie* (Collection Armand Colin), Paris, 1930, p. 104.

montre que, même dans leurs parties recouvertes par les mers à un moment donné, ils n'ont jamais correspondu à de grands fonds marins, ou presque jamais. Nos continents actuels ont pu être envahis, une fois ou l'autre, par les mers des temps géologiques ; ils restaient quand même des socles peu profondément submergés.

Une autre constatation faite sur les plissements eux-mêmes paraît également en contradiction avec l'explication d'Élie de Beaumont. Le plus souvent la forme et la direction des plis révèlent que la poussée qui les a produits était unilatérale. Elle venait d'un seul côté, tandis que de l'autre côté s'exerçait la résistance opposée. Pourtant si l'écorce, en s'affaissant par suite du retrait de la masse fluide, comprime latéralement les bords des compartiments affaissés, les voussoirs, le plissement devrait s'opérer dans deux directions opposées et non pas dans une seule.

Telles sont les principales objections qui militent actuellement contre la théorie des affaissements, qui a suffi si longtemps à coordonner toutes les données géologiques. On a donc cherché l'explication de l'origine des montagnes dans d'autres directions, que nous allons passer brièvement en revue, avant d'exposer la grande et surprenante synthèse qui semble aujourd'hui vouloir se substituer aux précédentes.

La théorie de l'écoulement. — L'idée que l'on puisse regarder les couches superficielles de l'écorce terrestre comme des nappes qui s'écoulent sur un plan incliné paraît au profane assez étrange. Elle semble beaucoup plus naturelle au géologue, qui connaît de nombreux exemples de transports de plissements à très grande distance : ce sont les nappes de charriage. Mais naturellement cet écoulement suppose déjà créée une pente, et cette pente à son tour la présence d'un pli, d'une ride, d'une montagne en un mot, c'est-à-dire précisément du phénomène dont nous cherchons actuellement l'explication. Nous ne saurions en aucune façon regarder la sphéricité même de la terre comme produisant par elle-même ce plan incliné indispensable à la théorie, sans tomber dans une illusion purement imaginative.

A cet écoulement superficiel, on a proposé de substituer des courants internes très profonds qui parcourraient la pâte en fusion que l'on supposait exister au cœur de la terre, les uns descendants, les autres ascendants, bosselant par leur effort ou creusant par leur aspiration la croûte superficielle. La surface du globe serait ainsi quelque peu comparable à celle d'une eau en ébullition, alternativement marquée de boursouflures et de concavités suivant que les bulles d'air surchauffé l'atteignent ou s'en délivrent en creusant. Le manque d'homogénéité des matériaux de l'écorce ne pourrait d'ailleurs qu'accentuer encore les inégalités du relief.

La difficulté est que l'on ne connaît aucun fait certain sur lequel appuyer l'existence de pareils courants internes du magma. Sans doute on peut fort bien imaginer quelque mécanisme apparenté à ceux de l'ébullition, des variations de température importantes sur les divers points et aux divers niveaux de la masse, des différences de constitution chimique, des combinaisons ou des décompositions donnant lieu à la production de masses gazeuses chassées avec force à travers la matière en fusion. Mais on reste ainsi dans le domaine de la pure hypothèse, des suppositions raisonnables, mais sans base certaine ni appui expérimental. C'est une première raison pour ne pas faire fond sur cette théorie. Une seconde, plus décisive, réside dans l'abandon à peu près général aujourd'hui, comme nous le verrons, de la croyance à l'état liquide ou pâteux du noyau terrestre. Cet abandon ne s'est pas fait à la légère. Il a été la conséquence d'une découverte capitale, qui a bouleversé toutes nos idées sur l'état de la matière aux grandes profondeurs, celle de la radioactivité et de la désintégration des corps radio-actifs. Nous y reviendrons un peu plus loin.

La théorie de l'isostasie. — Avant d'envisager les conséquences tectoniques de la radioactivité, arrêtons-nous quelque peu à la théorie proposée par le géologue Pratt, reprise ensuite par Helmert en 1884, puis en 1892, par le géophysicien américain Dutton et désignée sous le nom d'isostasie.

Elle part d'une observation de physique assez paradoxale, certaine cependant : l'intensité de la pesanteur est plus faible sur les montagnes jeunes que sur les massifs anciens, plus faible aussi sur les grands continents que dans les bassins océaniques. En vérité on s'attendait plutôt à des constatations inverses ! Dutton fit observer que ces résultats expérimentaux pouvaient cependant s'expliquer si l'on voulait bien admettre les points suivants. A une profondeur qui dépasserait 60 à 80 kilomètres, commencerait un domaine en équilibre parfait, une sphère régulière, à densité régulièrement répartie, et à l'intérieur de laquelle ne se produiraient aucuns mouvements. Entre cette masse sphérique et la croûte terrestre, s'étendrait une surface de discontinuité, une sorte d'espace à libre jeu séparant les deux domaines, une couche plus ou moins fluide et mobile sur laquelle flotterait l'écorce. Celle-ci serait dès lors soumise aux lois générales des corps flottants, les parties les plus denses baignant plus profondément dans l'hypothétique lubrifiant et formant le fond des océans, les plus légères au contraire s'élevant plus ou moins, suivant leur densité au-dessus du milieu qui les porte, et constituant les continents et les montagnes.

Toute cette partie des inductions et déductions de Dutton est aujourd'hui généralement admise, ainsi que les mécanismes qui en sont les conséquences immédiates. Termier, dans l'une de ses dernières publications, l'intégrait dans son tableau d'ensemble de la constitution de la terre [1]. Le grand savant parle de cet « équilibre obtenu par

[1] P. Termier, « Que faut-il penser de la Terre », conférence prononcée à Bruxelles, le 13 avril 1926, publiée

une *compensation* des masses trop légères venant se superposer à des masses trop denses ; en un mot, équilibre *isostatique* [1]. » Et il continue.

« Vienne une cause quelconque qui détruise l'exacte compensation antérieurement réalisée — par exemple, l'abaissement du relief continental par l'érosion ou le comblement d'une fosse marine par la sédimentation ; ou encore une fusion locale résultant d'un afflux momentané de chaleur, ou au contraire la cristallisation d'une région antérieurement fondue, — l'équilibre tend aussitôt à se rétablir par des mouvements intérieurs, par des transports de matières plastiques dans l'épaisseur même de la lithosphère, en un mot par le jeu de l'isostasie. Celle-ci, d'ailleurs, n'a pas besoin, pour jouer, que les masses internes soient liquides ; il lui suffit qu'elles soient plastiques ; et l'on sait que tous les solides deviennent plastiques sous des pressions suffisamment fortes. Mais la plasticité diminue rapidement quand on se rapproche de la surface ; il est probable que, parfaite à 100 kilomètres de profondeur, elle n'est plus que très imparfaite à 20 kilomètres. Ainsi s'expliqueraient naturellement les tremblements de terre : ce sont des chocs dans l'intérieur de la lithosphère, chocs qui, tous, se produisent à une faible profondeur, en général inférieure à 20 kilomètres ; ils auraient pour cause l'insuffisance de plasticité des zones superficielles et la résistance qu'elles opposent aux flux profonds qui les sollicitent. »

Cette mise au point nous permet de poursuivre l'exposé de l'hypothèse de Dutton, précisément en ce qu'elle a de tout à fait original.

L'équilibre obtenu par la différente hauteur de la « ligne de flottaison », pour ainsi parler, des divers compartiments de l'écorce terrestre n'a rien de définitif, loin de là. Il se détruit sans cesse du fait de l'érosion. Les eaux, les vents, les températures extrêmes travaillent de concert à rabaisser et à alléger les parties élevées, à éroder les reliefs, à entraîner leurs débris dans les dépressions. Des produits issus de l'usure des continents, les profondeurs océaniques lentement se tapissent et se comblent. Sans cesse montagnes et continents diminuent d'épaisseur et de poids, sans cesse les fonds marins surchargés gagnent en pesanteur et élèvent leur niveau. C'est, pour employer le langage technique de la géologie, la sédimentation des géosynclinaux. Or pour maintenir l'équilibre isostatique, il faut de toute nécessité que les dépôts accumulés sur les fonds marins soient de nouveau ramenés vers les continents. Les dépressions en voie de se combler « tendent » donc, pense Dutton, à déverser leur contenu sur les continents, à former des plis qui glisseraient et s'écouleraient de la haute mer vers les rivages, se déverseraient vers les continents comme sous l'effet d'une poussée unilatérale. De sorte que, sous l'effet de cette poussée originaire des régions océaniques, de puissantes masses de sédiments se trouveraient soulevées et disposées en chaînes plissées, qui sont effectivement nos chaînes de montagnes.

Comme on l'aura déjà saisi, il faut de cet ensemble théorique faire deux parts. La base, qui repose sur des notions géophysiques sûres, n'exige pas de réserves. Mais le reste de la construction ne saurait bénéficier du même traitement. Visiblement il est légitime d'invoquer l'isostasie pour expliquer l'équilibre de l'écorce ; il ne l'est plus s'il s'agit d'expliquer du même coup la surrection des montagnes.

Assez nombreuses en effet se présentent aussitôt les objections. Tout d'abord la théorie suppose une viscosité du globe terrestre dans son ensemble, qui semble bien dépasser largement ce que l'on en peut légitimement admettre. Puis on ne saisit pas bien comment ce sont les parties les plus denses et en outre encore surchargées qui produisent ces soulèvements.

D'un autre côté, l'érosion et le comblement des grands fonds se poursuivent à une allure lente et régulière, tandis que la formation des montagnes a certainement lieu par crises séparées par de longues périodes de calme. Il y a opposition absolue entre la constance de l'action isostatique et l'irrégularité de l'orogénèse. La géologie connaît de très longues périodes au cours desquelles aucun mouvement orogénique ne s'est produit.

C'est un fait également que des massifs montagneux qui, jadis, formaient des fonds marins très profonds, et par suite possédaient une grande densité, ont été soulevés tels quels, avec toute leur surcharge sédimentaire, sans que celle-ci fût repoussée ni écoulée vers les continents voisins. Au cours des périodes géologiques, souvent océans et continents ont permuté de place, sans qu'on puisse constater ces phénomènes de décharge-ment et d'écoulement qu'exigerait la théorie.

Enfin celle-ci ne fournit aucune explication de deux traits fondamentaux, caractéristiques de la structure et de l'histoire des chaînes montagneuses, d'une part la complexité de leurs ramifications et de leur dessin, qui ne semble guère répondre à l'effet d'une poussée de sens uniforme, d'autre part la simultanéité avec laquelle, après d'immenses périodes calmes, des chaînes distantes les unes des autres et diversement disposées, ont surgi et pris leur assiette définitive.

Ainsi donc finalement, dans la recherche que nous avons entreprise, la théorie de l'isostasie nous abandonne juste au moment critique et ne nous apporte point l'explication cherchée.

LA THÉORIE DE LA RADIOACTIVITÉ. — Il faut donc chercher ailleurs la source de l'énorme énergie nécessaire à la formation des reliefs terrestres. Sitôt découverte la radioactivité, il était naturel de penser à lui demander l'appoint de sa puissance. Il existe en effet, dans l'écorce terrestre, et cela jusqu'à une profondeur inconnue, des corps radioactifs qui se désintègrent lentement, en libérant de l'énergie. Cette profondeur est à coup sûr au moins d'une dizaine de kilomètres, mais très vraisemblablement beaucoup plus grande encore et atteint, rien n'empêche de le croire, jusqu'au centre de la terre. La désintégration des corps radioactifs dégage de la chaleur. Il devient donc

la même année dans la *Revue des questions scientifiques*, recueillie ensuite dans le volume *La vocation de savant*, Paris, 1929.

[1] *La vocation de savant*, p. 79.

très probable que le globe terrestre, au lieu de se refroidir, se réchauffe. Supposés limités à l'écorce, ces phénomènes suffiraient encore à repousser l'idée d'une contraction du noyau. Mais les vraisemblances plaident contre cette limitation, et alors, comme le dit encore P. Termier,

« ce serait toute la terre qui tendrait à s'échauffer ; et il suffirait de supposer que ce dégagement de chaleur fût variable dans le temps et dans l'espace pour que nous puissions le considérer comme la cause de nos déformations : cause agissant ici ou là, suivant une loi profonde que nous ne pouvons pas savoir ; parfois s'assoupissant pendant de longs millénaires et ne se traduisant plus que par des mouvements imperceptibles ou à peine perceptibles aux vivants ; puis se réveillant soudain, s'exaltant jusqu'à une sorte de paroxysme, dressant des montagnes ou creusant des abîmes marins, déplaçant les faunes et les flores, changeant la géographie ; et, après ce grand effort, s'apaisant de nouveau et semblant s'endormir [1]. »

Appliquée ainsi à la formation des montagnes, cette théorie est d'origine récente ; elle a été formulée en 1923 par Joly. Celui-ci, sous la croûte solide, admet la présence d'une couche basaltique très radioactive révélée à notre observation par les phénomènes volcaniques. Sa radioactivité développe de hautes températures qui amènent le basalte à la fusion, au moins partielle. Il se trouve ainsi que les continents reposent sur une nappe interne de consistance très visqueuse, à la surface de laquelle ils flottent pour ainsi dire. Mais la masse en fusion cède sous leur poids, les masses continentales s'y enfoncent et finalement la mer les envahit. D'autre part le volume de la couche basaltique en fusion augmente, exerce sur l'écorce des pressions locales qui provoquent des ruptures : ce sont les phénomènes volcaniques avec éruption de laves. Puis la présence des océans sur les parties continentales qu'ils ont envahies les refroidit ; par suite ils se contractent, se soulèvent à nouveau, leurs parties moins résistantes, celles qui avaient formé précédemment les plus fortes dépressions, se plissent et constituent ainsi les chaînes de montagnes.

Tel est l'ensemble de la nouvelle théorie, assurément très séduisante, dont l'une des principales qualités est de permettre une étroite connexion entre l'explication proposée pour les phénomènes volcaniques et celle des mouvements de l'écorce qui donnent naissance aux grands reliefs. Très remarquable par sa valeur explicative, elle n'a que le défaut, mais il est grave, de reposer sur des considérations hypothétiques. Elle reste donc, de ce fait, incertaine et fragile, dans son point de départ, mais fournira sans doute, dans l'avenir, son appoint à une plus large synthèse, qui ne peut manquer de se construire un jour.

La théorie de la dérive. — De toutes les théories produites à ce jour, celle qui s'accorde incontestablement avec le plus grand nombre de faits, est celle dont il nous reste à parler, celle de la dérive des continents. Elle fournit en effet une explication plausible non seulement aux phénomènes orogéniques et à la surrection des montagnes, mais à la formation même des continents tels que nous les voyons, et, bien plus, à une multitude de faits biologiques, relevant tant de la géographie zoologique que botanique, pour lesquels jusqu'ici l'on ne trouvait que des causes visiblement insuffisantes.

Il s'agit de la théorie exposée en 1915 par le savant allemand Alfred Wegener, théorie si neuve, si paradoxale, si discutée depuis lors, si étonnamment aux prises avec deux séries de faits, les uns surtout biologiques, qui semblent chaque jour lui apporter de nouvelles confirmations, les autres, surtout géologiques, qui incitent à la réserve.

C'est elle que nous allons exposer dans les pages suivantes, la formation de chaînes de montagnes s'y trouvant étroitement liées à celle des continents.

II. — L'origine des continents

Les zones de densité. — Le temps n'est certes pas très éloigné où les savants comme le public se faisaient, de la constitution du globe, une idée relativement simple : une masse en fusion sensiblement sphérique limitée par une mince écorce solidifiée ; d'une part le « feu central », de l'autre la croûte terrestre.

Cette conception semblait répondre à la fois à l'hypothèse de Laplace sur les origines du globe terrestre et aux faits d'observation. Fragment détaché de la nébuleuse solaire, masse d'abord fluide se refroidissant lentement et se solidifiant à sa surface, la terre devait rationnellement comporter ces deux éléments : noyau igné, carapace solide lui servant d'enveloppe. L'existence des volcans, les mesures de la température interne ne pouvaient que confirmer cette manière de voir.

La température croît, chacun le sait, à mesure que l'on s'enfonce dans le sol A 1 500 mètres, on relève près de 50°, à 2 240 m 85°. Il est admis qu'en moyenne la température s'élève d'un degré tous les trente et un mètres, ou de 3 degrés par 100 mètres [1]. Un calcul simple montre qu'à 10 kilomètres de profondeur la température doit atteindre 300°, et, si l'accroissement se maintient uniforme, à 100 kilomètres 3 000°. Or le rayon terrestre mesure environ 6 350 kilomètres. Calculez l'accroissement de température qui paraît devoir en résulter ! Il semble certain qu'à moins de 100 kilomètres de la surface tous les matériaux terrestres, tous les métaux et toutes les roches ne peuvent subsister qu'à l'état de fusion [2]. Dans ces

[1] P. Termier, *La vocation de savant*, p. 70

[1] Mais avec de très grandes variations locales oscillant entre 10 et 115 mètres par « degré géothermique ».

[2] Le granite, à la pression ordinaire, fond à 1.200° centigrades ; par conséquent il serait déjà à l'état de fusion à 40 km. de profondeur. A 60 km. la température doit être de 2 000°. Les plus grandes profondeurs atteintes par des sondages ont révélé l'exactitude et la constance d'accroissement de la moyenne admise pour le degré géothermique. Dans les mines de sel de Pa-

conditions l'écorce terrestre ne représenterait pas même un soixantième du rayon, un cent-vingtième de l'épaisseur de la terre, soit la valeur de l'épiderme d'une pomme par rapport à la chair. Et sous cette mince pellicule, la masse en fusion.

Aussi la moindre fêlure subie par cette mince enveloppe ne peut manquer de laisser échapper quelque peu de ces matières ignées. C'est ce qui se produit à l'occasion des phénomènes volcaniques. Les laves rejetées par les cratères représentent des roches fondues, qui, refroidies, reviennent à l'état rocheux. L'existence, sous la croûte terrestre, de masses liquides à hautes températures, constituées par des roches en fusion, est donc un fait acquis. D'ailleurs la forme même de la terre, aplatie aux pôles, exactement comme une sphérule liquide en rotation, les phénomènes d'isostasie, le déplacement des pôles aux époques géologiques, tous ces faits supposent la viscosité, sinon l'absolue fluidité du globe terrestre dans sa majeure partie. Cette zone en fusion a reçu le nom de *pyrosphère*, tandis que, par opposition, on nommait la croûte *lithosphère*.

Ainsi il est bien acquis que l'écorce terrestre flotte comme un radeau sur un feu liquide. Mais doit-on en conclure que le noyau même de la terre est également un liquide en fusion ? Sans doute le calcul des températures pourrait le faire supposer. Mais il intervient ici un autre facteur qui modifie radicalement les résultats : la pression. Il nous est impossible de mesurer évidemment sa valeur pour l'ensemble de la lithosphère. On calcule qu'à 10 kil. de profondeur elle doit atteindre environ 3 000 atmosphères, et 20 000 à 70 kil. Ce sont donc des pressions formidablement supérieures à toutes celles que nous pouvons réaliser qui s'exercent sur le noyau igné. Et comme les expériences de laboratoire montrent que le point de fusion s'élève en même temps que la pression, on est amené à conclure qu'à partir d'une certaine profondeur l'état des corps répond à une densité, à une condensation moléculaire supérieures à celles de tous les corps connus, et que l'état de fusion cède la place à un état de rigidité particulier, dont nous n'avons pas d'exemple dans les laboratoires. « A partir d'une profondeur de 10 km., pense même M. Leuba, il n'y a plus de distinction possible entre l'état solide et l'état liquide [1]. »

Diverses raisons amènent à penser que le noyau, loin d'être liquide comme on le croyait autrefois, possède à peu près la densité et la rigidité du fer. Ce bloc central a été nommé *barysphère*. La constitution d'ensemble de la terre, dans les conceptions actuelles, s'établit donc comme suit : au centre, la barysphère, énorme boule rigide mais surchauffée ; autour d'elle, une nappe en fusion, d'épaisseur inconnue, la pyrosphère ; recouvrant le tout comme une mince pellicule flottante, la lithosphère ou écorce terrestre. Celle-ci à son tour est enveloppée par l'*hydrosphère*, ensemble des océans, fleuves, rivières et nappes liquides souterraines, et enfin par notre *atmosphère* [1].

Diverses considérations viennent confirmer l'hypothèse de la rigidité de la barysphère, si opposée qu'elle soit à des conceptions pourtant peu anciennes. Les calculs opérés sur la propagation des ondes, tant longitudinales que transversales, provoquées par les tremblements de terre, montrent que leurs vitesses croissent à peu près régulièrement jusqu'à environ 1.500 kilomètres de profondeur ; plus loin, celles-ci restent invariables et égales ou même supérieures à celles que développerait leur propagation à travers l'acier.

D'un autre point de vue, si la pellicule solide recouvrait une masse uniformément pâteuse ou liquide, on ne voit pas comment cette dernière résisterait à l'attraction de la lune et du soleil, et par suite comment elle pourrait ne pas être agitée de formidables flux et reflux, qui rompraient indubitablement la mince coquille d'œuf dont elle est enveloppée.

Poussant plus loin l'analyse, Ed. Suëss a admis que la barysphère est surtout composée de nickel et de fer, et pour cette raison il l'a nommée, en prenant les symboles chimiques représentant ces deux métaux (Ni = nickel ; Fe = fer), du nom baroque, mais qu'il faut connaître, de *nifé*. Ce noyau métallique constituerait, et de beaucoup, la partie la plus considérable du globe ; on lui attribue un diamètre au moins de 10 000 kilomètres sur les 12.700 du diamètre terrestre. Parallèlement au *nifé*, Suëss distinguait dans la pyrosphère deux éléments dominants, la silice et le magnésium, d'où le nom de *sima* par lequel il la désigne ; il la conçoit à l'image du basalte en fusion, comme des roches basiques de densité élevée. Enfin la lithosphère lui paraissait constituée surtout par des roches acides, plus légères, éminemment riches en silice et en aluminium ; d'où le nom de *sial*, composé comme les précédents, et aussi contrairement au génie des langues.

Finalement on peut donc résumer les conceptions actuelles sur la constitution du globe terrestre, telles que les utilisa Wegener pour son hypothèse de la dérive, comme suit :

Lithosphère (croûte terrestre) = *sial* (silice, aluminium).

Pyrosphère (matière en fusion) = *sima* (silice, magnésium).

Barysphère (noyau rigide) = *nifé* (nickel, fer).

En vertu de l'isostasie, Wegener pense que la lithosphère est d'épaisseur à peu près nulle au fond des grands océans, tandis qu'elle atteindrait

ruschowitz, en Haute Silésie, la sonde a atteint 2 240 m. ; c'est le maximum obtenu jusqu'ici. Le percement des grands tunnels, comme ceux du Saint Gothard et du Mont Cenis, ont démontré, d'autre part, ce qui confirme les résultats précédents, que les lignes de même température souterraine sont parallèles à la surface du sol et se modèlent sur le relief.

[1] J. Leuba, *Introduction à la Géologie*, p. 15-16.

[1] Au point de vue biologique on distingue encore la *biosphère*, région des êtres vivants, étroitement liée à l'hydrosphère. Elle a été surtout étudiée par les savants russes.

une centaine de kilomètres d'épaisseur sous les grandes chaînes. Par suite le *sial* et le *sima* seraient beaucoup plus nettement distincts qu'ils ne l'étaient pour Suess. Le *sial* formerait presque exclusivement les blocs continentaux, tandis que le *sima* toucherait à peu près le fond même des abîmes océaniques, pour se prolonger de là sous les massifs continentaux de *sial*. Pour ce géophysicien donc, les continents sont comparables à des icebergs flottant sur l'océan et plongés dans l'eau par leur base et leur partie inférieure. L'eau se trouve remplacée ici par la pyrosphère et sa nappe visqueuse [1].

Arrivés à ce point de notre exposé, nous comprenons à la fois comment Wegener a été conduit à son hypothèse et les conséquences qu'il va audacieusement tirer de là.

LA DÉRIVE DES CONTINENTS. — Si les continents ne sont plus que des îles flottantes, des îles de *sial* sur un océan de *sima*, de gigantesques icebergs dont la partie immergée est beaucoup plus considérable que la partie visible [2], il devient tout naturel de penser que, comme des icebergs encore, ces masses flottantes s'en vont à la dérive.

Les grandes masses représentées par les premiers fractionnements originels de l'écorce auraient donc, lentement, changé de place, entraînées à des vitesses variables suivant leurs positions respectives, leur étendue, leur forme. Au cours des temps géologiques, leurs distances entre elles, leur place sur le globe, les détails, parfois, de leur configuration n'auraient ainsi cessé de se modifier. De légères fissures sur les bords de ces masses, puis le retard des fragments qui s'en détachent, sur les mouvements de l'ensemble, ont produit les îles. Des fissures plus grandes, plus profondes et plus larges ont donné lieu à la naissance de nouveaux océans. Et voici comment se seraient produites les montagnes. Le *sima* pâteux oppose naturellement une grande résistance au mouvement de translation des continents, profondément « enracinés » dans sa substance, ainsi que nous l'avons vu précédemment. Le bord antérieur des terres en marche se trouve donc plus ou moins repoussé vers l'intérieur du continent. Par suite se forment des plis, qui s'accroissent, se repoussent et se surchargent mutuellement : ce sont les chaînes montagneuses.

« Vous voyez immédiatement, écrivait P. Termier, ce que l'on peut tirer de l'hypothèse, la souplesse non pareille qu'elle possède, la facilité avec laquelle elle résout tous les problèmes de la répartition géographique des faunes et des flores ; l'accord — déjà indiqué il y a soixante ans [1] par Airy, auteur d'une hypothèse analogue — l'accord qu'elle présente avec les observations relatives aux anomalies de la pesanteur ; la liberté qu'elle prend à l'égard des pôles de la Terre qui n'ont plus de raison d'être fixes et dont le déplacement, par rapport aux continents, va permettre d'expliquer sans peine toutes les variations de climat dont peuvent avoir besoin les géologues [2]. » On démêle facilement, dans ces lignes, un scepticisme légèrement ironique, bien que leur auteur ne rejetât pas radicalement l'hypothèse de Wegener. Il est clair qu'au premier abord elle donne l'impression d'être quelque peu fantaisiste. Comme les îles de *sial* qu'elle nous présente, en voguant sur le vaste océan, parfois si houleux, et toujours passablement ténébreux, des théories scientifiques, elle se heurte tout de suite à une certaine résistance de l'esprit. Il paraît tout de même trop aventureux de jouer ainsi avec les éléments de notre globe comme avec de simples pions, si colossaux soient-ils, à la surface d'un damier.

Pourtant cette première impression cède la place à l'étonnement, et à une certaine stupeur inquiète lorsque l'on pénètre plus avant dans l'exposé de Wegener. On ne peut ne pas s'émerveiller devant la richesse, la variété, la convergence des arguments de tous ordres qu'il a amas-

[1] Cette viscosité, cette fluidité peuvent fort bien se concevoir sans aller jusqu'à l'état liquide intégral. Nous ne devons pas raisonner d'après l'aspect extérieur d'un corps ni nous limiter à l'échelle de notre expérience courante. L'exemple classique destiné à faire saisir les relations possibles de la viscosité avec une certaine consistance matérielle est celui du bâton de cire à cacheter. S'il tombe à terre, il se brise en morceaux à cassure très nette et pourtant, même à cette température, il est doué d'une certaine viscosité, puisque posé horizontalement sur deux supports et abandonné à lui même, il s'incurve lentement et, au bout de quelques mois, se trouvera replié sur lui-même. Ainsi sa rigidité apparente voilait une viscosité réelle que l'on ne soupçonnait pas. L'avance des glaciers est due à un phénomène analogue. Un bloc de glace paraît rigide et cassant. Pourtant la masse du glacier se moule sur la vallée qui le contient aussi étroitement que si la glace était une pâte molle.

[2] Wegener admet d'ailleurs qu'au début des temps géologiques le *sial* formait une couche continue d'une épaisseur uniforme, une sorte d'enveloppe ou de coquille comme celle de l'œuf. Puis cette coquille se serait fendue et fragmentée, sous l'action de forces difficiles à préciser, de sorte qu'il se forma plusieurs larges blocs continentaux distincts séparés par des bassins océaniques. Puis sont intervenus les plissements qui ont refoulé de plus en plus l'écorce sur ces socles continentaux, en les repliant à la façon, dit Wegener, d'une lanterne vénitienne sphérique.

Quant à l'épaisseur comparée des diverses « sphères » emboîtées l'une dans l'autre, on n'a, évidemment, que des évaluations très approximatives. L'atmosphère aurait 100 km. environ, dont 60 pour l'atmosphère d'azote. Pour l'hydrosphère, on peut donner avec quasi certitude une épaisseur moyenne de 4 km. si on la limite aux océans (les fosses océaniennes les plus profondes dépassant 9 km) ; si on y comprend les eaux courantes et atmosphériques, ce chiffre doit être notablement majoré. Pour la lithosphère on peut admettre une moyenne de 60 km., très inégalement répartis, comme nous savons. Sur cette épaisseur, on admet que les roches sédimentaires ne prennent qu'un mince pourcentage ; elles ne forment qu'une très légère pellicule recouvrant la masse des roches cristallines, dont elles ne sont qu'un produit d'altération. Au magma visqueux de la pyrosphère, il semble que l'on peut attribuer, tout considéré, une épaisseur de 600 km. Il resterait donc quelque 5 000 à 5 500 km. comme rayon du noyau constituant la barysphère, soit un diamètre de 10 000 à 11 000 km.

Quant à la partie immergée et à la partie émergée du *sial* dans le *sima*, en se basant sur les densités moyennes qu'il leur attribue, Wegener calcule que la première représente une profondeur d'environ 95 km., tandis que 5 km. seulement de *sial* émergeraient du *sima*.

[1] En 1859.

[2] P. Termier, *La Vocation de savant*, p. 74.

sés en faveur de son hypothèse. Elle n'a guère cessé de gagner du terrain depuis qu'elle a été émise. On se trouve même fréquemment amené, en constatant certains faits de géographie biologique, tant animale que végétale, à songer spontanément à ces phénomènes de dérive comme à la seule explication apportée jusqu'ici à ces constatations d'origine énigmatique.

On peut dire, actuellement, que cette étonnante hypothèse échappe aux objections soulevées contre les précédentes, et, d'autre part, qu'elle a pour elle un grand nombre de faits tant de géophysique, que de géologie et d'histoire naturelle. Nous pourrons peut-être quelque jour revenir sur ces aspects du problème. Pour l'instant bornons-nous à la formation des chaînes de montagnes.

Voici donc comment Wegener présente les faits, époque par époque [1]. A la « Panthalassa » dont nous avons parlé, succéda une ère où les océans laissèrent émerger un immense bloc de la lithosphère, continent unique, vaste plateau de *sial*, dans lequel étaient soudés l'Ancien et le Nouveau Monde, l'Amérique du Nord actuelle avec l'Europe, Terre-Neuve, le Groënland et l'Irlande, l'Amérique du Sud avec l'Afrique, Madagascar et l'Océanie.

Cet état aurait duré pendant toutes les ères primaire, secondaire et, en partie, tertiaire. Vers la fin du Tertiaire une immense fracture fendit ce bloc dans le sens nord-sud actuel. L'Amérique se trouvant avancer vers l'ouest plus rapidement que notre ancien continent, se sépara petit à petit de lui, si bien qu'un océan se creusa entre l'Amérique d'une part, l'Europe et l'Afrique de l'autre. Mais l'avance de l'Amérique suscitait une forte résistance sur son front occidental de la part du *sima* formant le fond du Pacifique. Il en résulta des plissements grâce auxquels surgirent ces grandes chaînes bordières de l'ouest américain qui s'étendent sur toute la longueur du continent et que nous nommons aujourd'hui Monts d'Alaska, Montagnes Rocheuses, Plateau du Mexique, et Cordillière des Andes. Par contre, à l'est, des fragments retardataires se détachaient du continent américain et lâchaient son bord postérieur. Ainsi se formèrent ces cordons d'îles parallèles à la côte, que sont les Grandes et Petites Antilles et les Lucayes, tandis que des masses plus importantes s'arrêtaient plus en arrière encore, la Terre de Baffin, le Groënland, Terre-Neuve, l'Islande.

Vers le même temps, sinon même plus tôt, le bloc de l'Ancien Monde, par l'effet de phénomènes analogues, voyait se désagréger une bonne partie de sa masse méridionale : l'Antarctide, l'Australie, l'Inde se détachaient de l'Afrique, après avoir déjà semé sur leurs derrières les cordons insulaires du Japon, des Philippines, de la Mélanésie, de la Malaisie et de la Sonde, et, pour l'Australie, de la Nouvelle-Zélande. L'Australie dériva vers le nord, l'Inde beaucoup plus encore, puisqu'elle vint se souder au continent asiatique. Le résultat du choc entre l'Asie septentrionale et l'Inde fut ce formidable plateau tibétain, le « Toit du monde, » ensemble des énormes plissements auxquels furent contraintes les lignes de jonction des deux masses continentales. L'Hindou Kousch, l'Himalaya, le Pamir jalonnent ces lignes de leurs faîtes cyclopéens.

Dans leur forme générale elle-même, les continents témoigneraient de ces mouvements de dérive. C'est, en effet, comme conséquence d'un retard dans le mouvement de translation vers l'ouest, plus violent aux environs de l'équateur qu'aux environs des pôles, que la pointe australe de l'Amérique aussi bien que celle de l'Afrique se trouvent légèrement recourbées et infléchies vers l'est.

La rotation de la terre, sans doute, serait la cause principale de cette dérive vers l'ouest, correspondant à la résultante des forces centrifuges. Cette première forme de la dérive serait accompagnée d'une seconde, plus lente et plus atténuée, dans la direction, celle-ci, de l'équateur. Les masses continentales se trouveraient poussées à déferler en vagues successives des pôles vers les régions équatoriales. De sorte que pendant que la dérive vers l'ouest crée des chaînes dans le sens nord-sud, celle-ci fait naître des plissements transversaux d'ouest en est. C'est ainsi qu'auraient vu le jour les plissements calédonien, hercynien et alpin, par suite que seraient nés les Alpes, les Pyrénées, l'Atlas, le Caucase, et, avec en plus, la poussée du continent indien, l'Himalaya.

Wegener voit dans l'affaissement du dôme rhénan, entre les Vosges et la Forêt Noire, grâce auquel le Rhin, changeant de direction, a pris son cours vers le Nord, ou dans la grande cassure de la vallée du Jourdain, avec la Mer Morte, le golfe d'Akaba, la Mer Rouge, la fracture de la vallée du Nil, deux exemples de ces déchirures qui se produisent dans les continents, pour s'élargir souvent jusqu'à leur entière séparation. Si l'on imagine que tout un système de cassures de ce genre convergeait primitivement vers le pôle sud, on comprendra, pense-t-il, pourquoi les continents se rétrécissent et finissent en pointe dans cette direction.

Fragmentation des continents et plissements, formes de leur contour et de leur relief, seraient ainsi essentiellement des conséquences de leur dérive. Nous avons vu comment d'une ligne de fracture pouvait sortir un bassin océanique. Wegener explique non moins clairement la genèse des différentes sortes de plissements, par le déplacement relatif des socles continentaux. Supposons deux socles de ce genre, celui de gauche immobile, ou plus exactement, animé d'un mouvement de translation plus lent. Si le socle de droite s'avance perpendiculairement vers l'autre, il en résultera des plis de grandes dimensions, verticaux ou couchés, ceux-ci donnant des nappes de recouvrement qui s'étaleront sur les terrains

[1] A. WEGENER, *La Genèse des Continents et des Océans*, traduction de M. Reichel, librairie scientifique A. Blanchard, rue de la Sorbonne, Paris, 1924.

sous-jacents. S'il en approche obliquement, nous aurons des plis en échelons, d'autant plus serrés et plus bas que la dérive tendra à une direction parallèle au plan de contact des deux blocs. « Lorsque ce parallélisme sera atteint, il se produira à la jointure des socles une surface de glissement par déplacement en long. Enfin si la composante s'écarte de la ligne de partage des socles, nous serons en présence d'une disjonction oblique ou normale qui apparaîtra au début sous la forme d'un fossé d'affaissement. On peut aisément rendre sensible le rapport des plis normaux aux plis en échelons au moyen d'une pièce d'étoffe : il suffit d'en immobiliser une partie en la surchargeant et de mouvoir le reste. Il ressort de ces considérations générales que le plissement et la disjonction sont les effets d'une même cause : la translation relative des compartiments du *sial*, et que les plis en échelons et le déplacement en long sont les termes intermédiaires du passage graduel de la compression à l'écartement. » Wegener accompagne cette vue d'ensemble d'un schéma géométrique fort simple, — trop, peut être[1] — montrant les diverses directions qu'il vient d'indiquer et leurs résultats : plis parallèles, droits ou couchés, plis en échelons, déplacement parallèle à l'obstacle, direction oblique ou normale des masses se détachant à l'arrière du radeau de *sial*.

Ces plissements, Wegener admet, en vertu des lois de l'isostasie, qu'ils ne se forment pas simplement à la surface des blocs continentaux, mais les affectent au contraire, dans toute leur épaisseur. De sorte que la partie immergée dans la pâte du *sima* se trouve plissée tout comme la partie émergée. Nous avons vu que l'épaisseur de la première dépasse à coup sûr de beaucoup celle de la seconde. Il résulte de là que les montagnes, telles que nous les voyons, ne forment qu'une très faible part du plissement réel : leur racine est beaucoup plus considérable que leur corps propre. De même qu'au bord d'une eau tranquille on aperçoit le paysage en double, que les hauteurs semblent s'étendre en deux sens opposés à partir de leur base, de même, dans la réalité, les montagnes sont réellement doubles et plongent profondément dans les entrailles du sol, mais y plongent à des profondeurs qui dépassent de beaucoup leur altitude. A la saillie vers le haut produite par le plissement constitutif d'une chaîne, correspond une saillie vers le bas beaucoup plus prononcée, une plongée des roches dans la couche du *sima*. Cette double extension du plissement, en hauteur et en profondeur, est commandée par la densité moindre du *sial*. Le même phénomène se retrouve dans les icebergs, dont le « tirant d'eau » est de même sensiblement supérieur à l'élévation de la partie émergée

Mais l'érosion, comme on sait, dénude et allège continuellement la surface des montagnes. Celles-ci ont donc tendance à s'élever de plus en plus, comme un bouchon maintenu dans le liquide, puis abandonné à lui-même Or, les terrains qu'emporte l'érosion, ce sont les dépôts sédimentaires de surface ; ceux qu'elle met au jour et qui gagnent en altitude, ce sont les terrains anciens que couvraient les sédiments. Voilà pourquoi, dit Wegener, la zone centrale des Alpes, par exemple, est constituée de terrains primitifs, tandis que leurs contreforts sont d'origine sédimentaire.

Autre conclusion résultant de l'exposé qui précède. Puisque le *sial* est plus léger que le *sima*, la différence de densité des matériaux enfoncés sous les montagnes explique les anomalies de la pesanteur, dont nous avons parlé, dans les régions montagneuses.

De même Wegener fournit une explication ingénieuse des phénomènes volcaniques et des tremblements de terre. Si des cassures se produisent, comme il l'imagine, dans les blocs continentaux, pour finalement, si elles se poursuivent, fragmenter le continent lui-même, il est normal que ces cassures aient un retentissement local considérable. De fait, les régions à tremblements de terre sont bien celles où la géologie révèle de grandes failles de l'écorce. Constamment, au voisinage des régions instables, on constate la présence de talus sous marins abrupts descendant à de grandes profondeurs Cette relation entre aires sismiques et talus sous marins a été admise par tous les sismologues. M. Montessus de Ballore en a fourni des exemples absolument typiques. C'est ainsi que l'île de Sumatra, malgré son profil allongé de poisson, n'est pourtant agitée de tremblements de terre que d'un côté, sur la côte sud-ouest, que dominent des montagnes et qui surplombe une fosse profonde de plus de 4.000 m. Au Japon, pays classique de tremblements de terre, la plupart des séismes naissent soit sur les talus, soit au pied de la fosse du Tuscarora. Dans ce dernier cas ils donnent lieu à des « *tsunamis,* » tremblements propagés à travers la mer et analogues aux raz de marée. De même en Amérique du Sud, les pays à séismes sont placés au voisinage des grandes fosses océaniques. Lisbonne doit ses fâcheuses catastrophes au voisinage d'un talus sous marin. L'Algérie n'est exposée aux séismes que dans la région où la profondeur de la Méditerranée atteint, à proximité, 2.500 mètres. « La carte de J. Milne, qui tient compte de tous les tremblements de terre importants du monde entier entre 1899 et 1903, dessine douze grandes aires instables de forme ovale. Toutes ces aires longent des littoraux ou embrassent des archipels ; une seule est continentale : la région méditerranéenne[1]. » Ainsi les régions à tremblements de terre sont aussi celles des grandes cassures de la croûte terrestre.

Il en va exactement de même pour les volcans ; ils jalonnent presque tous de grandes lignes de fracture. « Tous les volcans sont situés, dit l'auteur que nous venons de citer, sur le versant abrupt du bourrelet qui entoure les grandes dé-

[1] J. Leuba, *Introduction à la géologie*, p. 118.

pressions continentales ou marines. » Le « cercle de feu » du Pacifique est bien connu : presque tout le littoral est jalonné d'une ligne de volcans presque ininterrompue liée aux plis de l'époque tertiaire et voisine des abîmes océaniques creusés au pied des talus sous marins. Entre le sommet des Andes et le fond de l'Océan, il existe une dénivellation qui n'est pas loin d'atteindre 15 000 mètres. Le Kilimandjaro s'élève au voisinage de la fosse éthiopienne, comme les volcans éteints, alignés au long du Jourdain, de la Mer Morte et de la Mer Rouge, au voisinage de la fosse de l'Erythrée. Si l'Islande est essentiellement volcanique, c'est qu'elle est située sur une fracture rectiligne prolongeant la côte ouest du Groënland. De même les anciens volcans des Antilles, du Latium, des côtes algériennes et andalouses se trouvaient sur des régions d'effondrement. Même les volcans des centres continentaux, ceux du Tibet, ceux du Sahara, ceux des Karpathes, ceux du Plateau Central, aujourd'hui tous éteints, coïncident avec des charnières sur lesquelles ont joué deux compartiments voisins.

En plus de la position des volcans, Wegener invoque leur mécanisme lui-même. Il ne pense pas que du *sial* au *sima* la limite forme une ligne droite ni une surface simple, ou, si l'on veut, que les masses continentales offrent en dessous d'elles un plan limite les séparant du magma pâteux. Sans doute, au contraire, sont-elles déchiquetées et fragmentées de telle sorte que sur une grande épaisseur, règne une zone d'interpénétration dans laquelle se trouvent côte à côte des protubérances, des prolongements de l'un et de l'autre élément ; des échancrures, des enclaves du *sima* dans le *sial*, et inversement, sont infiniment probables. Or, par l'effet des plissements issus de la dérive, des inclusions de *sima*, des sortes de poches de lave, doivent se trouver comprimées, et, en conséquence, chercher une issue tant vers le haut que vers le bas de leurs parois. Celles qui viennent aboutir en surface ne seraient autre chose que les volcans. Wegener invoque à l'appui de cette vue l'exemple des volcans insulaires en guirlandes, ou ceux des continents disposés en arc de cercle. Dans de telles régions, les volcans se trouvent toujours sur la courbure interne du croissant, tandis que sur la courbure externe, on relève des cassures. Dans les Antilles, dans les Moluques, les îles de la Sonde, l'Océanie, aussi bien que pour le Vésuve, l'Etna et le Stromboli, ces observations sont faciles à vérifier. L'explication qu'en donne Wegener est que, pendant la dérive, le bord convexe doit être soumis à une très forte traction, et le bord concave à une très forte pression. Celle-ci fait éclater les poches de laves, d'où la présence des volcans en chapelets sur ces régions.

Parmi les faits d'ordre géographique, il en est de frappants qui semblent, à première vue, parler en faveur de l'hypothèse. C'est avant tout la forme même de certaines lignes de rivages des continents, en particulier le dessin presque parallèle des côtes de l'Amérique et de l'Afrique qui se font face. Il est assez remarquable, et c'est même de là, au dire de Wegener lui-même, que jaillit le trait de lumière qui l'incita à développer en système son idée de la dérive, de constater qu'à la concavité de la côte américaine dans la partie centrale, à la hauteur des Antilles, correspond, dans l'Ancien Monde, la convexité de l'Afrique occidentale. Plus au sud, se produit l'effet inverse : la convexité produite par l'ensemble du Brésil semble correspondre exactement au retrait du Golfe de Guinée. Il semble que les deux continents rapprochés s'emboîteraient à peu près exactement l'un dans l'autre. Cela, il n'est guère d'enfant qui ne l'ait remarqué sur son atlas ou sur son globe géographique. Wegener a poussé aux dernières conséquences cette vue, au premier abord enfantine, et a appuyé sur elle toute son imposante construction. L'ensemble des géologues admet bien que le Brésil, l'Afrique Australe, Madagascar, l'Inde et l'Australie formaient primitivement un seul bloc continental, le « continent de Gondwana », comme ils l'appellent. Mais tandis qu'ils expliquent leur séparation actuelle par l'effondrement des terres qui les reliaient, des « ponts » continentaux, Wegener, nous le savons, l'explique par la simple fragmentation et la dérive.

Un autre fait de très grande portée réside dans la place occupée par les grandes chaînes de montagnes. Nous avons déjà fait remarquer celle des Montagnes Rocheuses et de la Cordillière des Andes, sur le bord ouest des terres américaines. Mais le plissement alpin des Pyrénées aux Himalaya et aux Tsinling de la Chine, se trouvait aussi, au temps de sa formation, près des côtes des continents contemporains. Quand on remonte dans le passé géologique d'autres faits analogues se présentent. En Ecosse et en Scandinavie persistent les traces d'un ancien plissement de l'ère primaire représenté actuellement par les Monts Grampians et les Alpes scandinaves. Or cette vieille chaîne semble bien avoir bordé, au début de l'ère primaire, un continent boréal dont il ne reste aujourd'hui que des fragments, et qui embrassait tout le bouclier canadien et le Groënland. Et cette chaîne calédonienne se poursuit, dans l'Amérique du nord, par les Monts Adirondack et les Monts Appalaches de l'est canadien. Au nord de ceux-ci, les montagnes du Labrador et de la Terre de Baffin, vieux souvenirs presque effacés d'un plissement encore plus ancien, correspondent, en Europe, aux montagnes des Hébrides et du nord de l'Ecosse. C'est la vieille chaîne huronienne, qui bordait au nord la mer cambrienne et se poursuivait jusqu'à la Sibérie centrale. Plus au sud, maintenant, nous rencontrons la chaîne hercynienne (Armoricaine varisque de Suess), résultant d'un plissement de l'époque carbonifère qui a intéressé toute l'Europe centrale et méridionale. Les collines de Bretagne, le Plateau Central, les Vosges, la Forêt Noire, en sont les restes dégradés et usés par les éléments à travers les

âges. Une sorte de rupture brusque de la chaîne donne aux rivages bretons leur aspect caractéristique. Or, en Amérique, les Appalaches de la Nouvelle Écosse sont des montagnes du même âge, ainsi qu'en Terre Neuve, dont les côtes reproduisent assez exactement l'aspect breton. Ainsi conclut Wegener, ici encore tout semble démontrer que ces chaînes primitivement continues se séparèrent brusquement en tronçons entre lesquels les Océans vinrent s'intercaler.

Nous ne pouvons ici insister sur toutes les séries d'autres arguments tirés des déplacements des pôles au cours des périodes géologiques, des traces des glaciers quaternaires, de l'étude des faunes et des flores tant paléontologiques qu'actuelles. Peut-être pourrons-nous y revenir un jour. Ce que nous avons dit suffit à montrer que, malgré la fragilité du point de départ, Wegener ne s'est pas arrêté à des vues imaginatives superficielles, mais qu'il a conduit le développement de son hypothèse avec toutes les ressources de la science actuelle et d'une audacieuse logique.

Évidemment la théorie de Wegener, dans son ensemble, heurte fortement nos idées et même notre sentiment de la fixité des grands massifs continentaux, « un peu comme un fort tremblement de terre déroute la physiologie des masses humaines, » écrivait récemment M. Joleaud [1]. Pourtant il faut reconnaître qu'elle gagne de plus en plus de terrain parmi les géologues. La plupart en acceptent le principe, quitte à en limiter plus ou moins étroitement les applications. Il se produit aussi des adhésions sensationnelles, telles que fut celle du savant géologue suisse E. Argand, qui poussa les idées de Wegener jusqu'à en tirer une tectonique [2] nouvelle et qui dépasse encore considérablement en audace celle de Wegener lui-même. Des géologues capables de juger et de conceptions assez opposées, comme P. Termier et M. J. Leuba, s'accordent à qualifier de géniale la construction puissante d'Argand. Elle est assez difficile à exposer, à cause de son caractère technique. L'un des exposés les plus accessibles est celui de P. Termier, dans *La Vocation de Savant* [3]. Disons seulement, en simplifiant les choses le plus possible, que, pour Argand, toutes les masses continentales sont déjà elles-mêmes des plissements à courbure très faible et rayon de courbure énorme. De sorte que toute la croûte terrestre est soumise perpétuellement à des plissements incessants, dont l'amplitude varie à chaque instant et qui se propagent dans la lithosphère avec des vitesses à chaque instant modifiées. Les périodes calmes ne sont qu'un repos apparent, un quasi sommeil, qui n'est à peu près réel qu'à la surface ; les régions voisines, au même moment, se déforment plus ou moins ; puis survient une crise, un temps de paroxysme, où, sur une immense étendue, et avec une vitesse accrue, le point envisagé se déplace, où la déformation s'exagère, subissant des courbures beaucoup plus prononcées et donnant lieu à des plis qui peuvent aller jusqu'aux grandes nappes de charriage.

Les ondulations, les gauchissements des vieux massifs, de ceux que l'on appelait, avant Argand, des « boucliers », forment des *plis de fond*. Sur eux, et de façon fort indépendante, se forment d'autres plis constitués par les terrains sédimentaires qui les recouvrent. D'un autre côté, les deux bords des fosses océaniques peuvent se rapprocher comme les deux mâchoires d'une pince et faire surgir des plissements d'une autre sorte : ce sont ceux-ci les vraies chaînes de montagnes. Et c'est ainsi qu'Argand explique la surrection de la chaîne hercynienne et de la chaîne alpine. Il arrive même que l'une ou l'autre de ces chaînes se renverse sur la mâchoire de la « serre » qui la comprime. C'est ce que l'on observe pour les Alpes dinariques.

Mais à peine entrons-nous, par cet aperçu superficiel, dans la pensée d'Argand, beaucoup plus compliquée et savante que tout ce que nous pouvons en dire ici. Sa critique, nous la demanderons au même maître de la science géologique que nous avons déjà si souvent cité dans les pages qui précèdent, parce qu'il est un des rares savants qui puisse légitimement porter ici un jugement autorisé. « On voit immédiatement, écrit M. P. Termier, le fort et le faible de cette construction gigantesque. Sa force est dans son audace même, dans le rajeunissement qu'elle procure à toute la géologie, dans la liaison qu'elle impose à tous les phénomènes terrestres, depuis les plus minces détails de la sédimentation jusqu'aux plus amples charriages, depuis les jeux profonds de l'isostasie jusqu'aux plus petits changements du relief superficiel. Sa faiblesse est dans le nombre immense des hypothèses qui ont servi à l'édifier et dont la plupart sont des matériaux fragiles. Le nombre est tel, de ces hypothèses, qu'en vérité l'accord de la théorie avec les faits n'a plus grande valeur démonstrative. La théorie est trop souple, elle est trop riche, elle est trop commode. Elle dispose avec trop de liberté de tous les facteurs : énergie interne, temps, espace, plasticité des masses profondes, résistances subitement apparues qui sont des manques locaux de plasticité, lutte du *sial* et du *sima*, etc... Argand se lance à corps perdu dans l'inconnu ; il s'y meut avec une totale aisance, et cela paraît, de primo abord, prodigieux ; mais, à y regarder de plus près, on s'aperçoit que, la plupart du temps, le domaine où il se meut ainsi est un domaine imaginaire [1]. »

On sent bien qu'une partie de ces objections tombent également sur l'hypothèse primitive de Wegener. D'autres doivent venir s'y adjoindre.

[1] L. Joleaud, *Les Progrès récents de la Géologie*, dans *Revue scientifique*, 23 janvier 1932, p. 44.

[2] « La Tectonique est le chapitre de la géologie qui a trait aux déformations de la Terre. » (P. Termier, *La Vocation de savant*, p. 235). — Le travail capital d'Emile Argand, professeur à l'Université de Neuchâtel, est *La Tectonique de l'Asie*, dans les « Compte-Rendus du XIIIe Congrès international de Géologie », 1er fascicule (Vaillant Carmanne, Liège, 1924).

[3] P. 232 à 250.

[1] *La Vocation de savant*, pp. 245, 246.

Si le *sima* offre une telle résistance à la dérive qu'il puisse provoquer, dans le *sial*, ces plissements gigantesques dont nos plus hautes chaînes ne sont que l'effleurement, comment ne s'oppose-t-il pas entièrement à l'avance des blocs continentaux ? Puis, comment expliquer par ces plissements des grandes profondeurs les plissements de surface que l'on peut observer dans toutes les régions plissées ? Pourquoi aussi ces deux sens de la dérive, tantôt vers l'ouest, tantôt vers le nord ou vers le sud ? La fluidité que l'on suppose au *sima* est-elle compatible avec l'absence de marées dans cette masse pâteuse ?...

Il ne s'ensuit nullement qu'il faille rejeter l'idée fondamentale, celle de la mobilité des continents, ou certaines parties d'entre eux. Pour M. L. Joleaud, la partie de l'hypothèse contredite par les faits est la conception de la dérive à sens constant, mais il admet la possibilité de dérives locales, notamment une légère progression vers le nord-ouest du vieux bouclier saharien, l'écartement de plus en plus large des fossés de l'Afrique orientale (Mer Rouge, Grands Lacs), etc. [1].

Quant à P. Termier, nous l'avons vu déjà admettre, dans les plis alpins, un déplacement de 500 kilomètres. Des théories précédentes, il affirme garder la notion de l'incessante mobilité de la lithosphère, avec ses assoupissements et ses paroxysmes, la distinction des plis de fond, des plis superficiels et des chaînes comprimées entre les mâchoires des « serres », la notion que le Pacifique n'a jamais été un continent. « Je garderai la conviction que la théorie de Wegener ne peut être conservée que si on la discipline et l'encadre... Ce qui ressort le plus clairement de l'admirable livre d'Argand, c'est ce que j'ai pour mon compte toujours soutenu : la permanence de deux traits du visage terrestre, qui sont, l'un la Téthys, l'autre la zone circumpacifique... Cette longue permanence est la négation même de la thèse de Wegener telle que Wegener l'a présentée. Pour tout le reste, et dans l'intérieur de ce cadre, je suis *mobiliste* tant qu'on voudra et tant que ce sera nécessaire [2]. »

* *

Au terme de cette longue étude, que conclurons-nous ? Quelle est, finalement, la cause qui fait surgir les montagnes à la surface de notre globe ? Quel est le moteur qui plisse les continents et dresse les grandes chaînes ? Ce moteur, nous devons dire qu'il est encore inconnu et l'une des plus grandes énigmes de la géologie. Du moins pouvons-nous raisonner de ses effets, et y reconnaître une loi providentielle, une loi profonde et précise, comme la qualifie le grand géologue chrétien que nous avons pris plaisir à citer si souvent au titre de savant et qui parle ici en croyant, une loi « qui s'oppose à ce que la déformation [de la lithosphère] s'exagère jamais jusqu'à l'irréparable cataclysme où s'anéantirait la biosphère ; qui oblige cette déformation à se poursuivre, pendant des centaines de millions d'années, dans le même sens, de façon que certains traits du visage terrestre demeurent, malgré tout, quasi permanents... Dosage merveilleux de la mobilité et de la permanence,... déformation qui ne grandit jamais jusqu'à rendre la vie tout à fait impossible, et qui semble se borner à des jeux presque paisibles, tant ils sont lents, jeux par où le relief terrestre, que l'érosion use et vieillit, retrouve une jeunesse nouvelle : telle est la loi de la terre depuis le début des temps géologiques, c'est-à-dire depuis l'apparition de la Vie. Et cette loi, que je ne puis pas ne pas qualifier de *miséricordieuse*, me paraît un étonnant privilège de notre planète [1]. » La mise en lumière de cette loi ne valait-elle pas que la science passât par toutes les vicissitudes, les hypothèses et les remous dont nous avons tâché de donner quelque idée ?

[1] L. Joleaud, *Les Progrès récents de la Géologie*, dans *Revue scientifique illustrée*. 23 janvier 1932, p. 44.

[2] *La Vocation de savant*, p. 249.

[1] P. Termier, *Que faut il penser de la Terre ?* dans *La Vocation de savant*, p 71-72

LITURGIE

Q. — A certains jours de fête de N.-S., v. g. à Noël, à la Transfiguration, etc., les répons brefs de Tierce, de Sexte et de None figurent dans le Bréviaire avec un double *Alleluia*.

Ne devrait-on pas aussi mettre ces jours-là deux *Alleluia* au répons bref de Prime et, dès après les premières Vêpres de la fête, à celui de Complies ?

R. — Le répons bref de Prime et celui de Complies ne prennent qu'au temps pascal un double *Alleluia*. Ils n'en comportent pas à celles des fêtes qui, bien que tombant hors de ce temps, ont deux *Alleluia* aux répons brefs de Tierce, de Sexte et de None [2]. Les Rubriques générales du Bréviaire (tit. XXVIII, n. 5) sont formelles sur ce point : « Extra tempus pascale, quamvis in aliquibus festis ad Tertiam, Sextam et Nonam, responsoriis brevibus addatur *Alleluia*, non ideo adduntur ad Primam et Completorium. »

Malgré les apparences, il n'y a là aucune anomalie. Seuls, en effet, comme le fait remarquer Patroni [3], les répons brefs de Tierce, de Sexte et de None sont alors propres aux fêtes susdites, tandis que ceux de Prime et de Complies sont les répons ordinaires de ces deux heures canoniales.

Q. — *Je croyais que, quand on chantait les litanies de la Ste Vierge, v. g. au salut du Saint Sacrement, le verset et l'oraison récités à la suite étaient toujours les mêmes. Or, on me dit que ce verset et cette oraison varient avec les différents temps de l'année liturgique. Qu'en est-il exactement ?*

R. — I. L'évêque de Brünn, en Moravie, avait demandé entre autres choses à la S. C. des Rites si, dans les litanies de Lorette, le troisième *Agnus Dei* pouvait être immédiatement suivi du verset

[2] Aux fêtes mentionnées à titre d'exemple par notre consultant il faut ajouter, entre autres, celles de la Circoncision, du T. S. Nom de Jésus, de l'Epiphanie, du Saint Sacrement.

[3] *Dell'officio*, lez. XXVII, p. 231.